

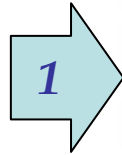
# Dosimétrie numérique et expérimentale en ondes millimétriques pour les expériences *in vitro*



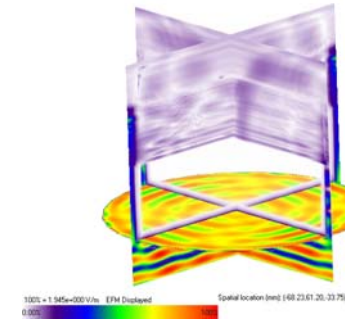
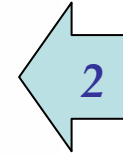
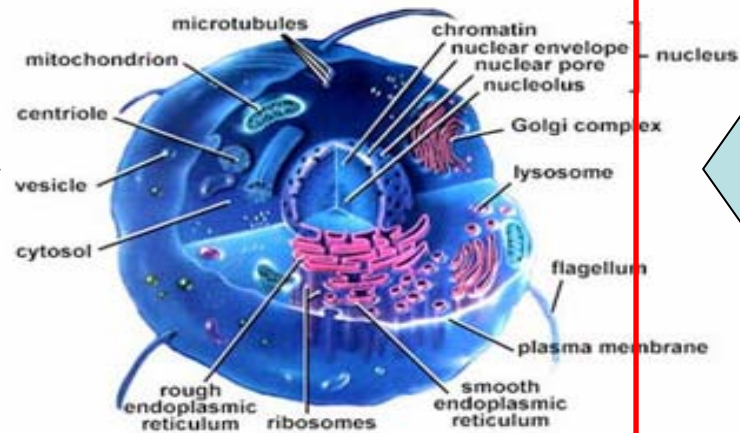
Maxim Zhadobov, *chercheur CNRS*

# Contexte

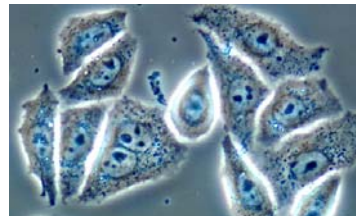
## Projet ANR SEST : Impacts sur la santé des rayonnements millimétriques



*Instrumentation pour les expériences in vitro en ondes millimétriques*



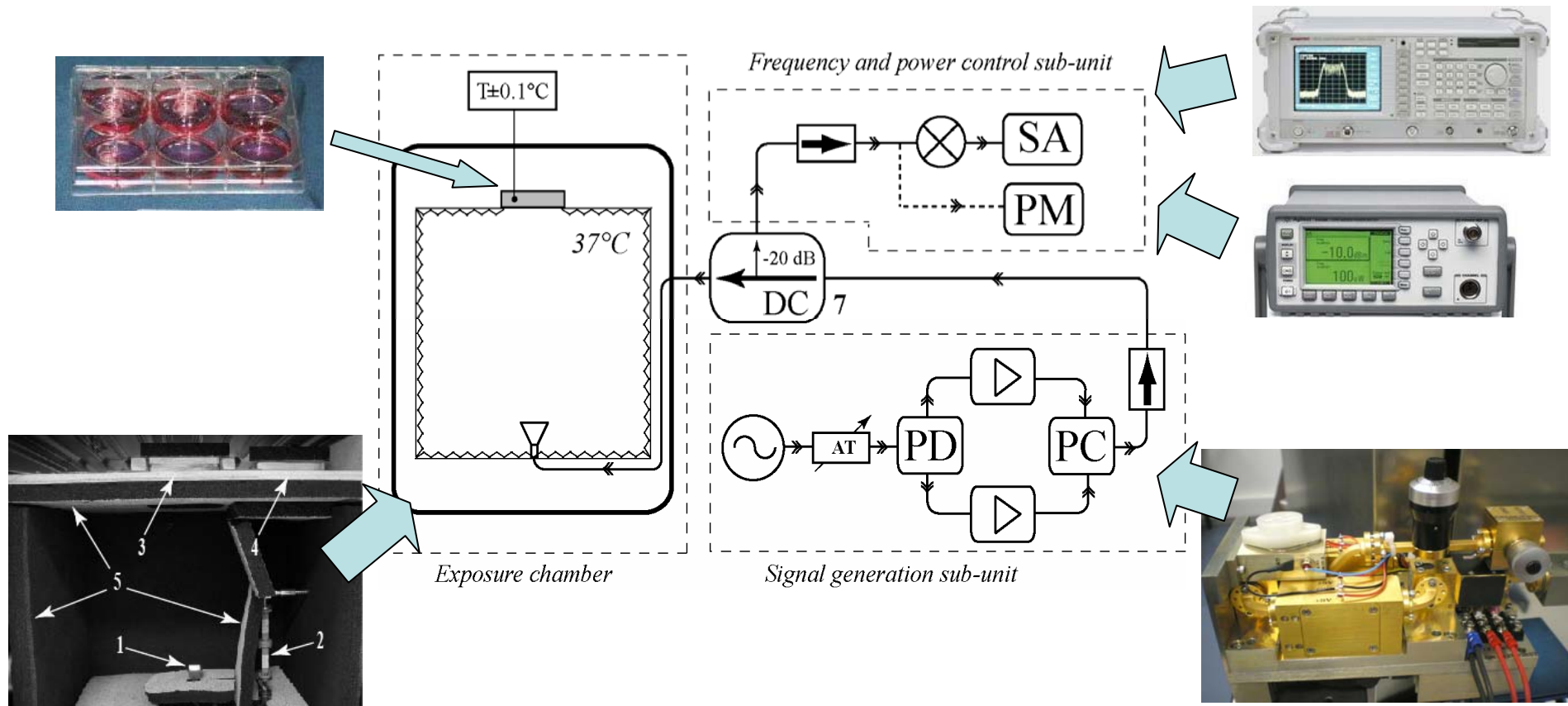
*Dosimétrie numérique et expérimentale*



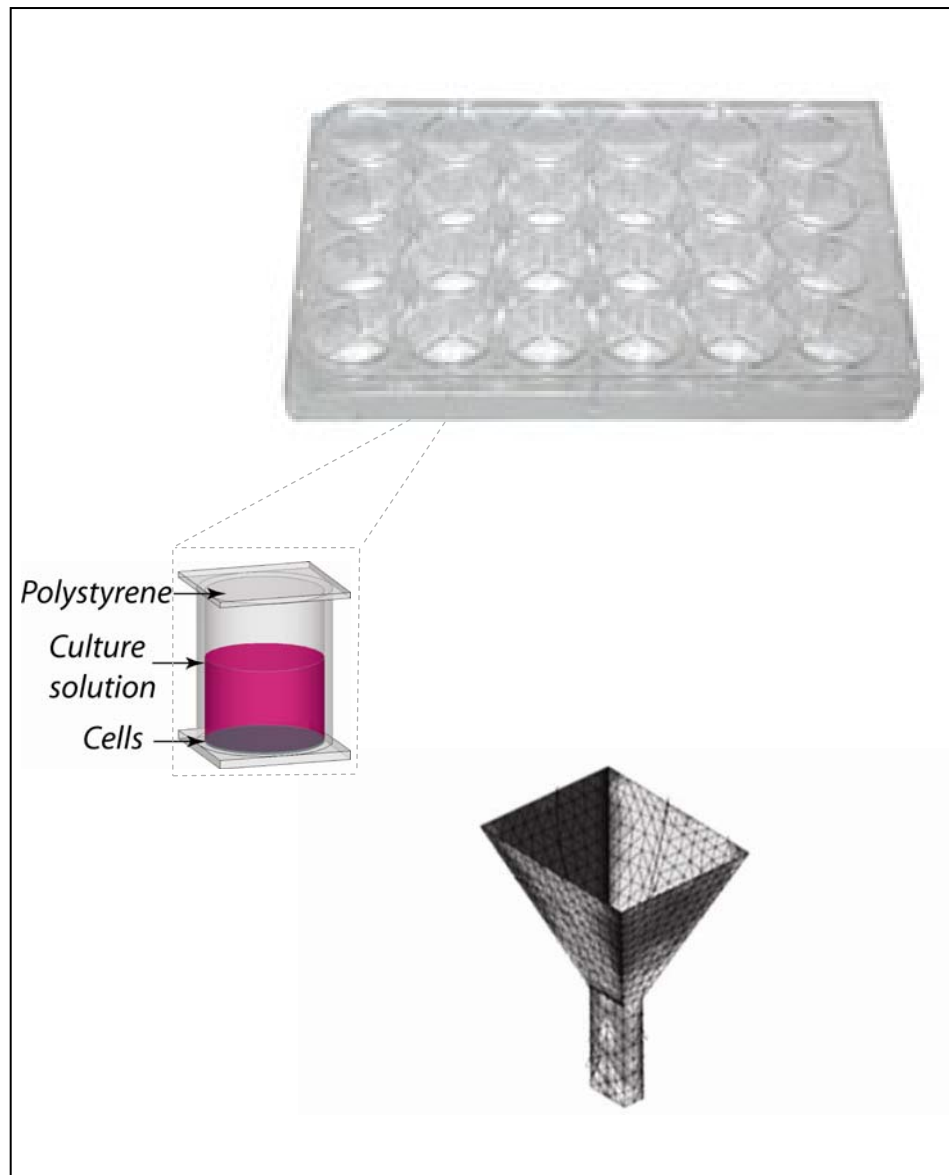
*Impacts sur les processus cellulaires*

# Systeme d'exposition

## Systeme d'exposition à 60 GHz



# Objectif de l'étude dosimétrique



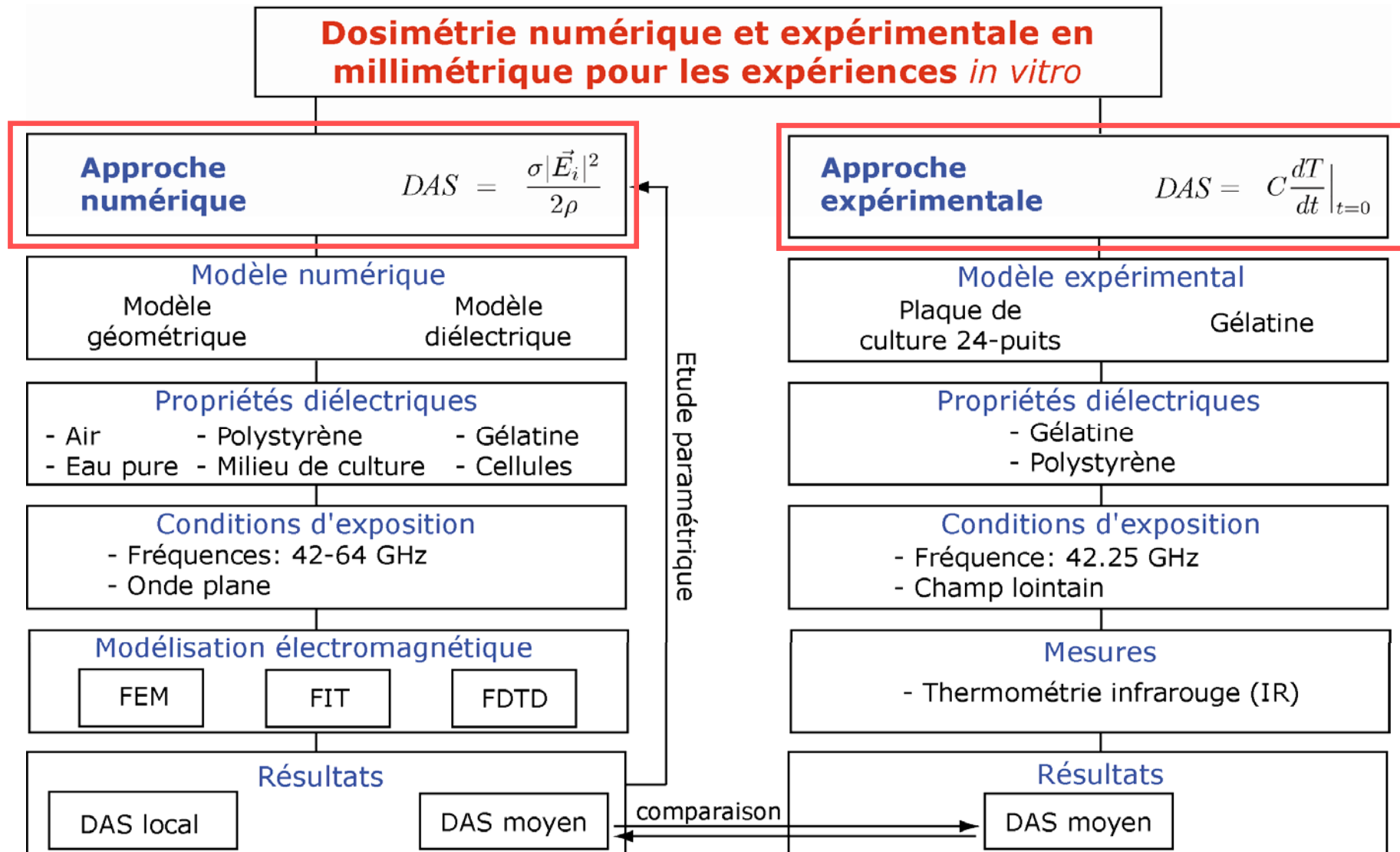
## Objectif :

Déterminer les valeurs de DAS local et moyen dans des monocouches cellulaires exposées aux ondes millimétriques.

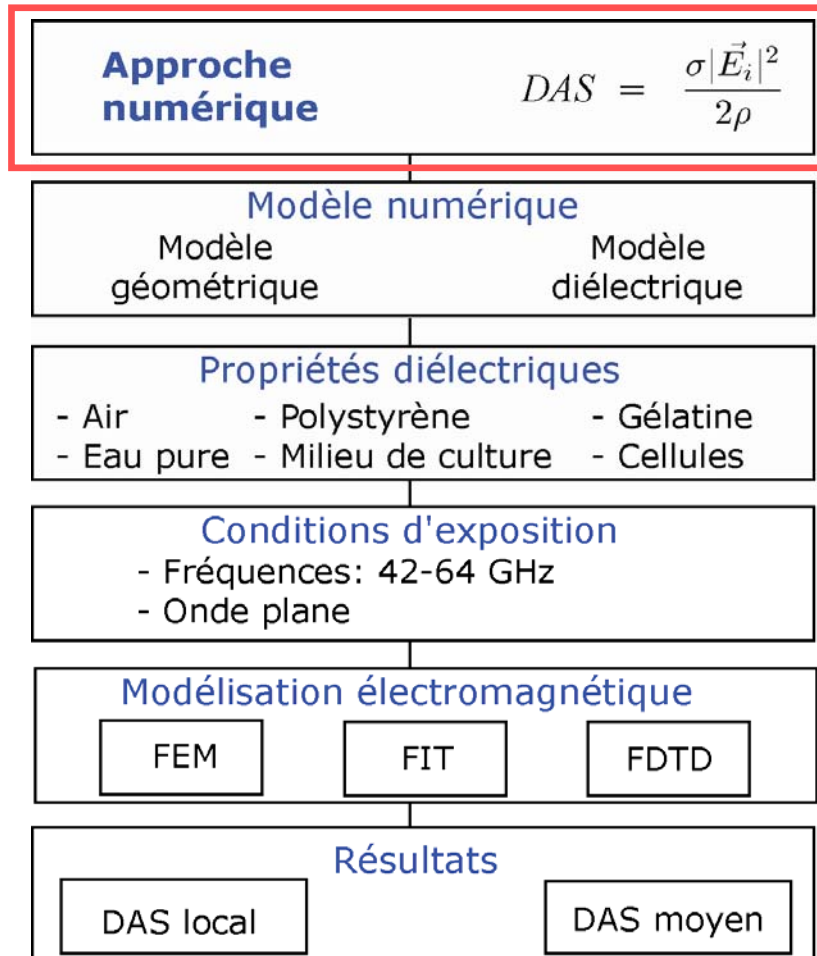
## Modèle :

Plaque de cultures avec des monocouches cellulaires au fond des puits exposée aux ondes millimétriques en champ lointain.

# Méthodologie



# Approche numérique (1/7)



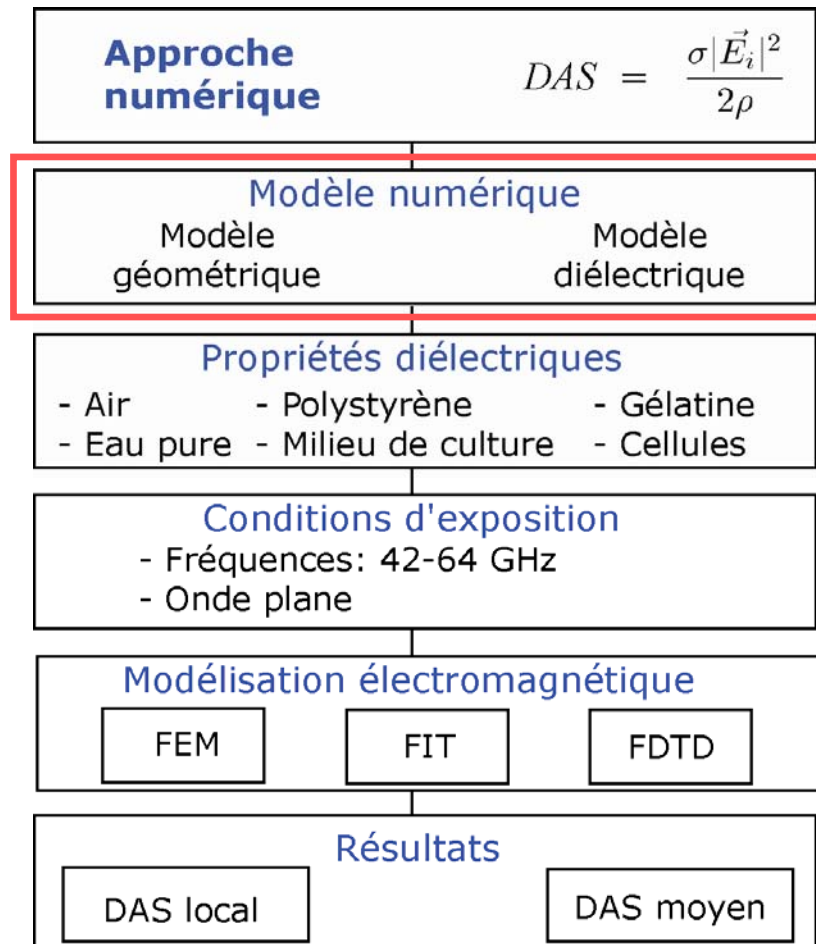
$$DAS = \frac{\sigma |\vec{E}_i|^2}{2\rho}$$

$E_i$  – champs électrique

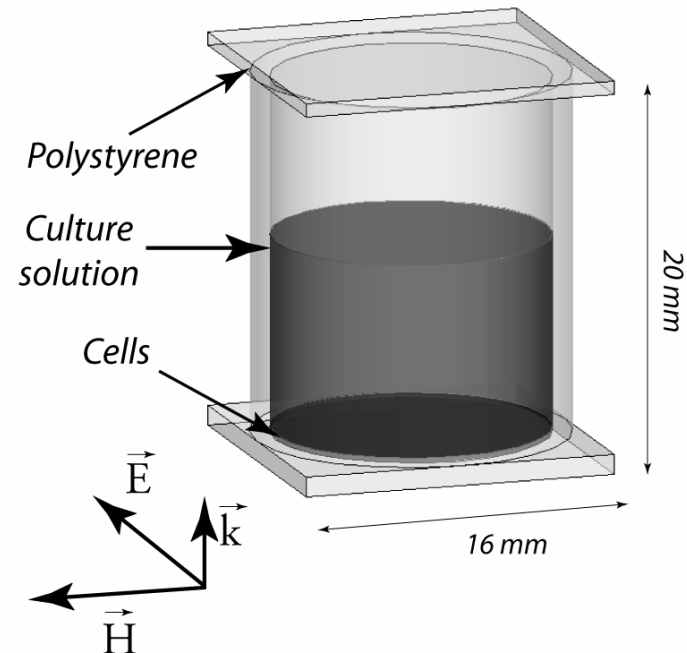
$\sigma$  – conductivité

$\rho$  – densité massique

# Approche numérique (2/7)

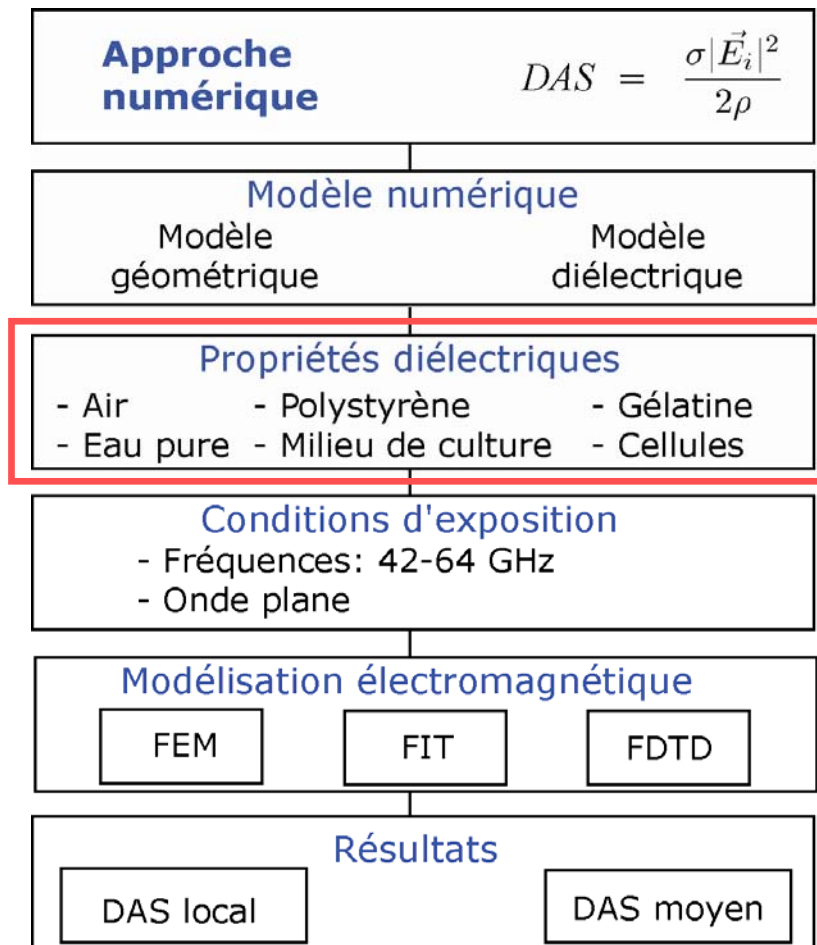


**Modèle géométrique :**  
un puits de la plaque 24 puits

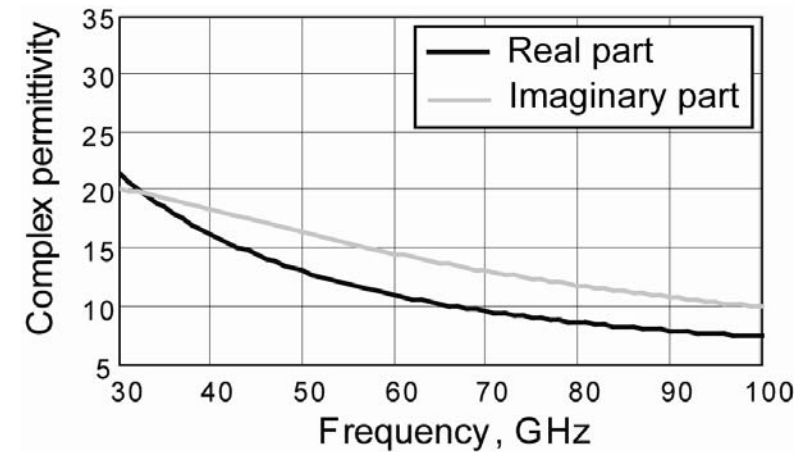


**Conditions aux limites périodiques :**  
Le couplage mutuel et les réflexions multiples entre puits voisins sont pris en compte

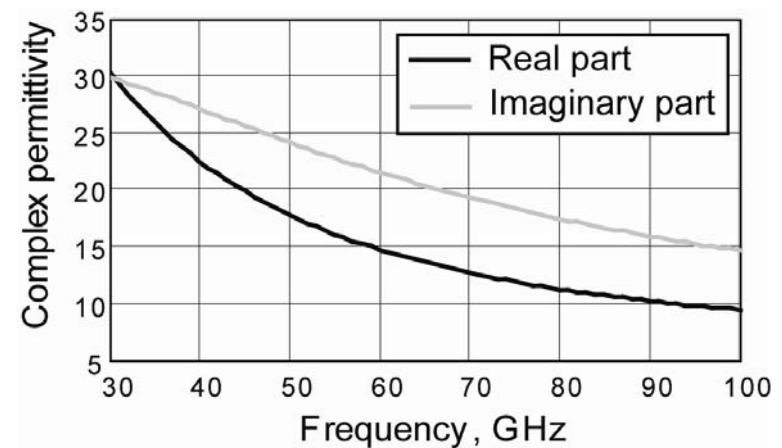
# Approche numérique (3/7)



## Permittivité de la monocouche cellulaire

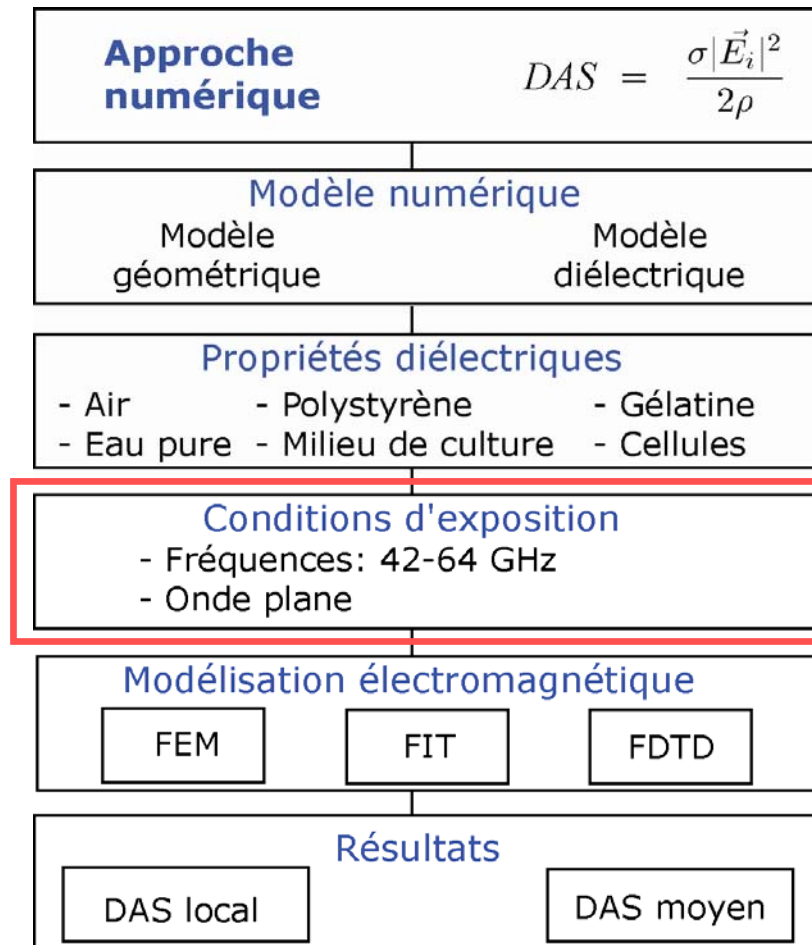


## Permittivité du milieu de culture





# Approche numérique (4/7)



Fréquences qui seront utilisées en télécommunications :

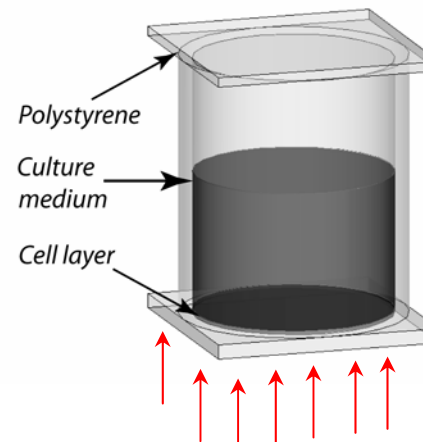
- 57-64 GHz

Fréquences thérapeutiques :

- 61.22 GHz ( $\lambda_0=4.9$  mm)

- 53.57 GHz ( $\lambda_0=5.6$  mm)

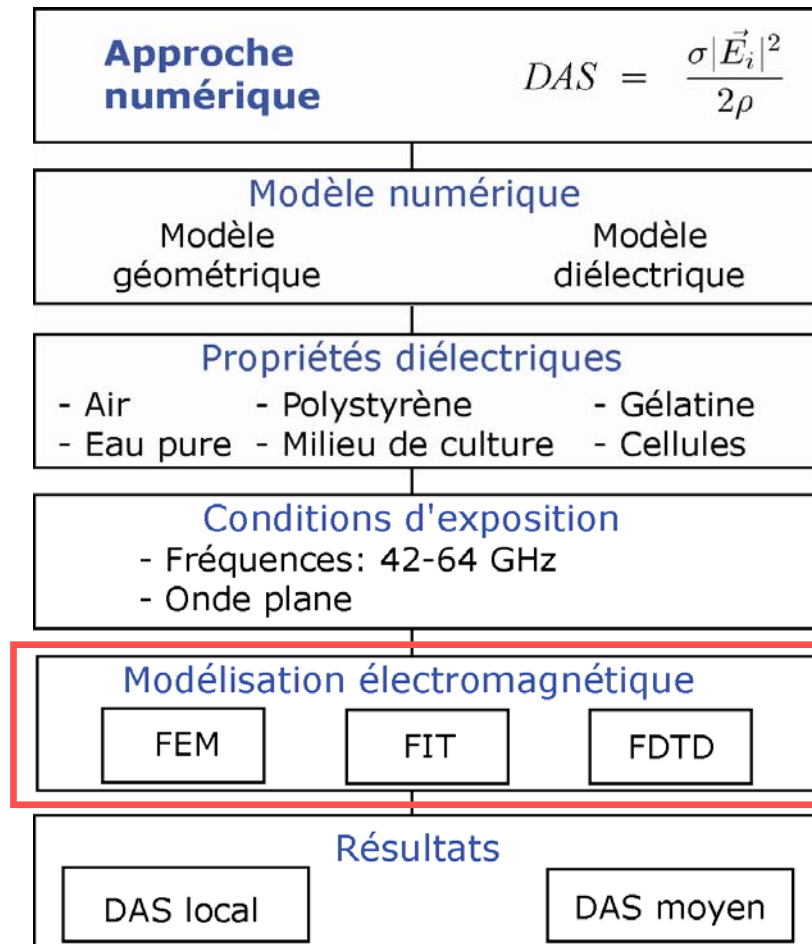
- 42.25 GHz ( $\lambda_0=7.1$  mm)



**Ondes millimétriques**

- Onde plane
- Incidence normale
- Densité de puissance de 1 mW/cm<sup>2</sup>

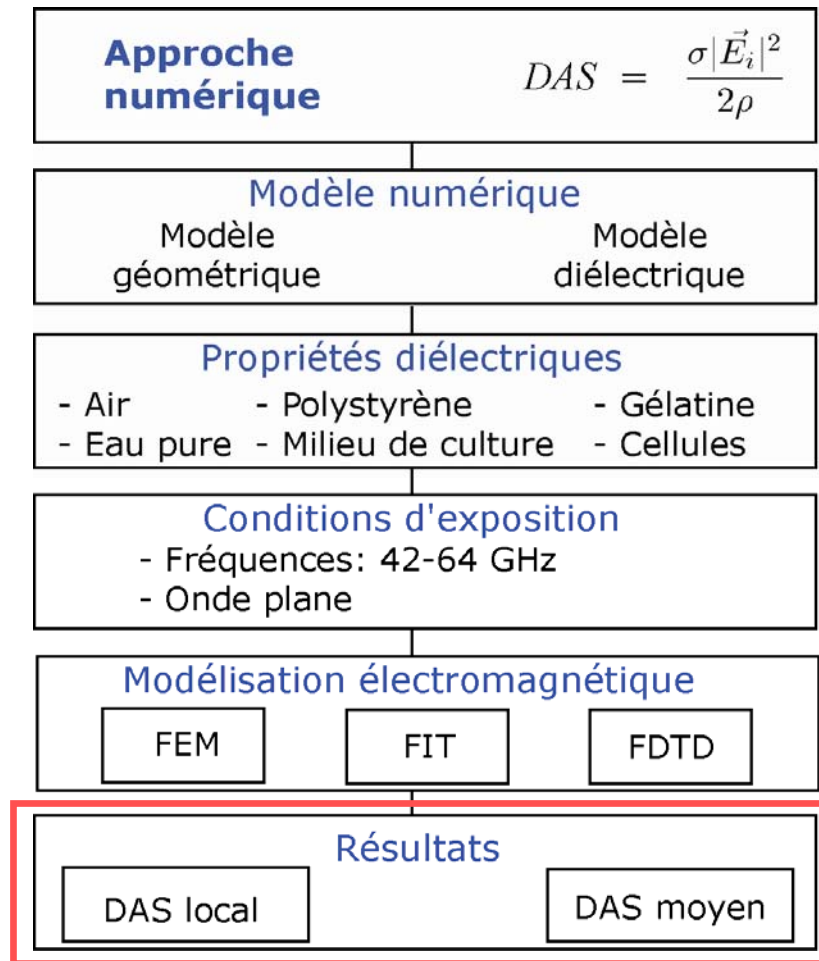
# Approche numérique (5/7)



## Méthodes numériques utilisées :

- 1) FEM  
=> HFSS
- 2) FIT  
=> CST Microwave Studio
- 3) FDTD (étude en cours)  
=> SEMCAD

# Approche numérique (6/7)

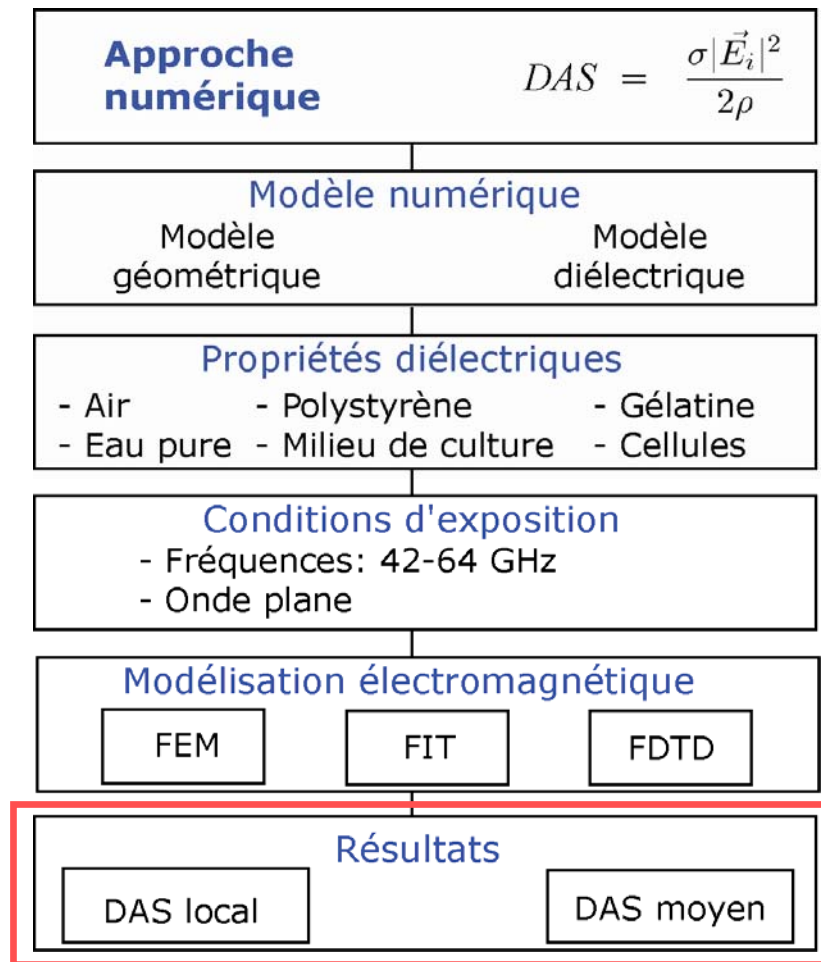


DAS moyen dans une monocouche cellulaire exposée à différentes fréquences

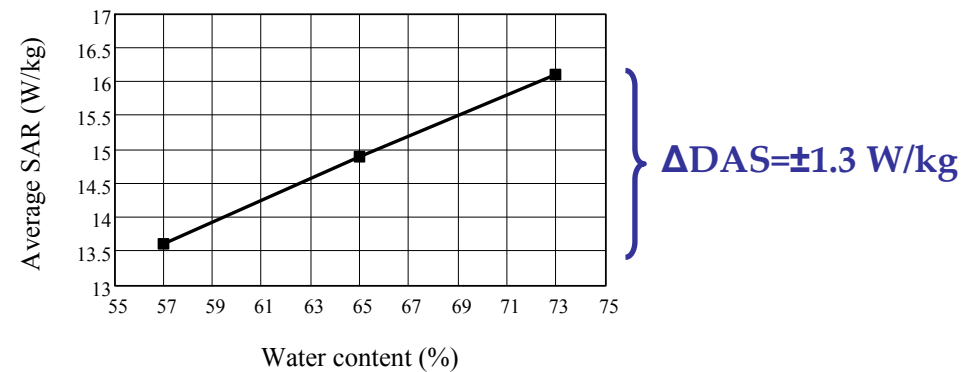
Frequency range	Frequency, GHz	Average SAR, W/kg
Therapeutic frequencies	42.25	13.0
	53.57	14.8
	61.22	14.9
Wireless communications	57	14.9
	60	14.9
	61	14.8
	64	14.7

DAS moyen compris entre 13 et 14.7 W/kg

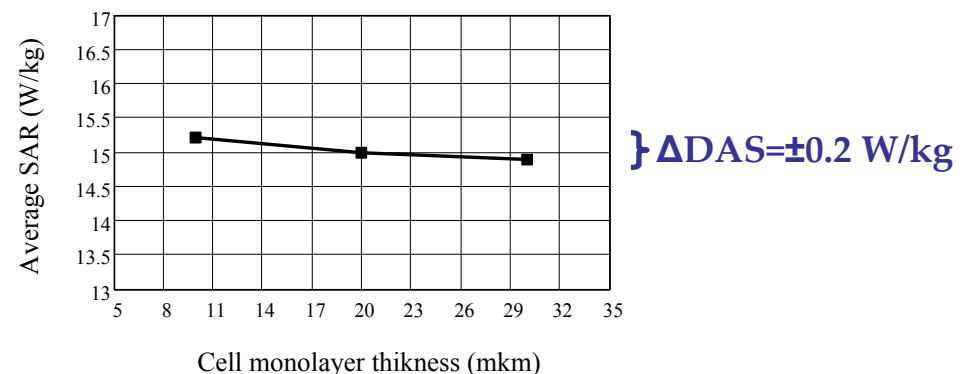
# Approche numérique (7/7)



DAS calculé pour les différentes concentrations d'eau des cellules exposées à 60 GHz :



DAS calculé pour les différentes épaisseurs des monocouches cellulaires exposées à 60 GHz :



Le DAS varie significativement en fonction de la concentration en eau des cellules. L'épaisseur de la monocouche cellulaire a peu d'impact sur le DAS.

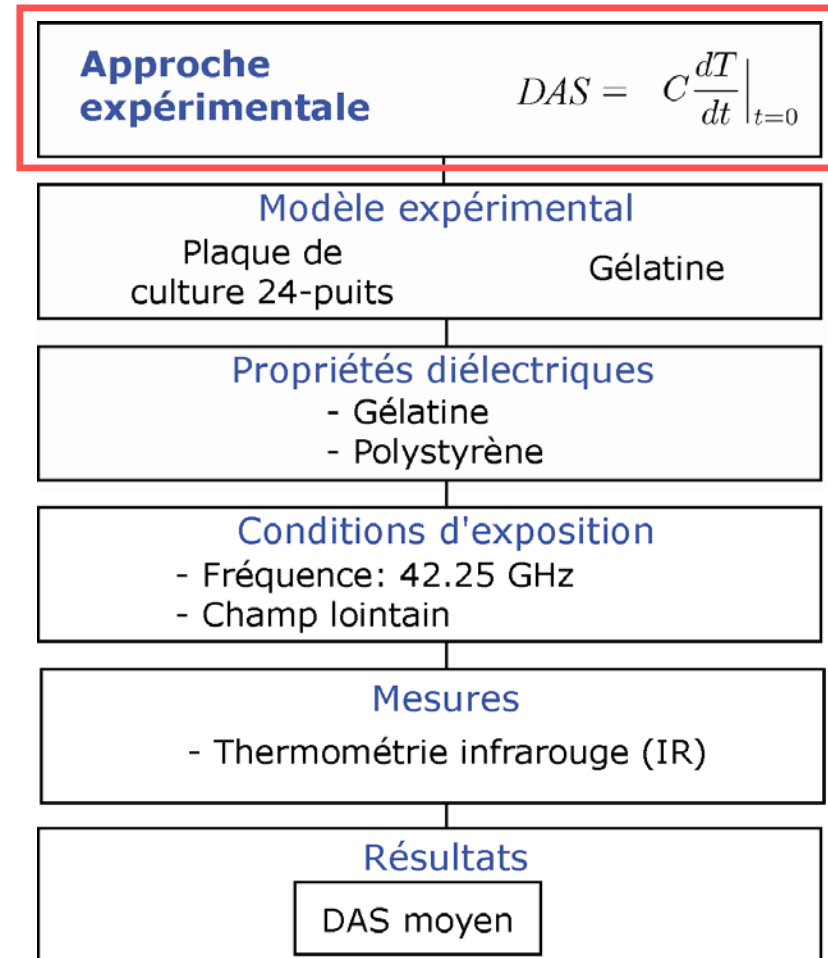
# Approche expérimentale (1/6)

$$DAS = C \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0}$$

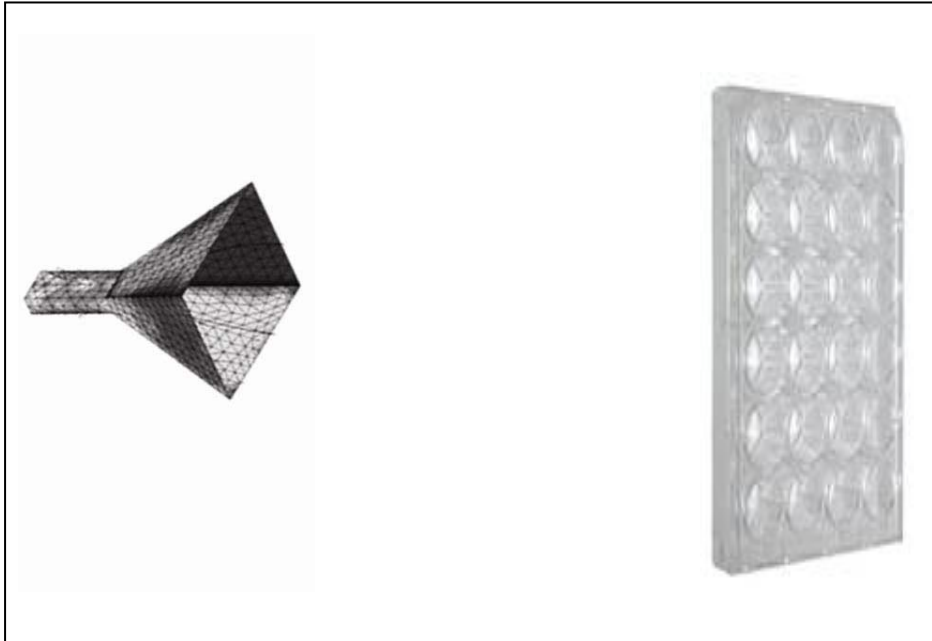
$T$  – température

$t$  – temps

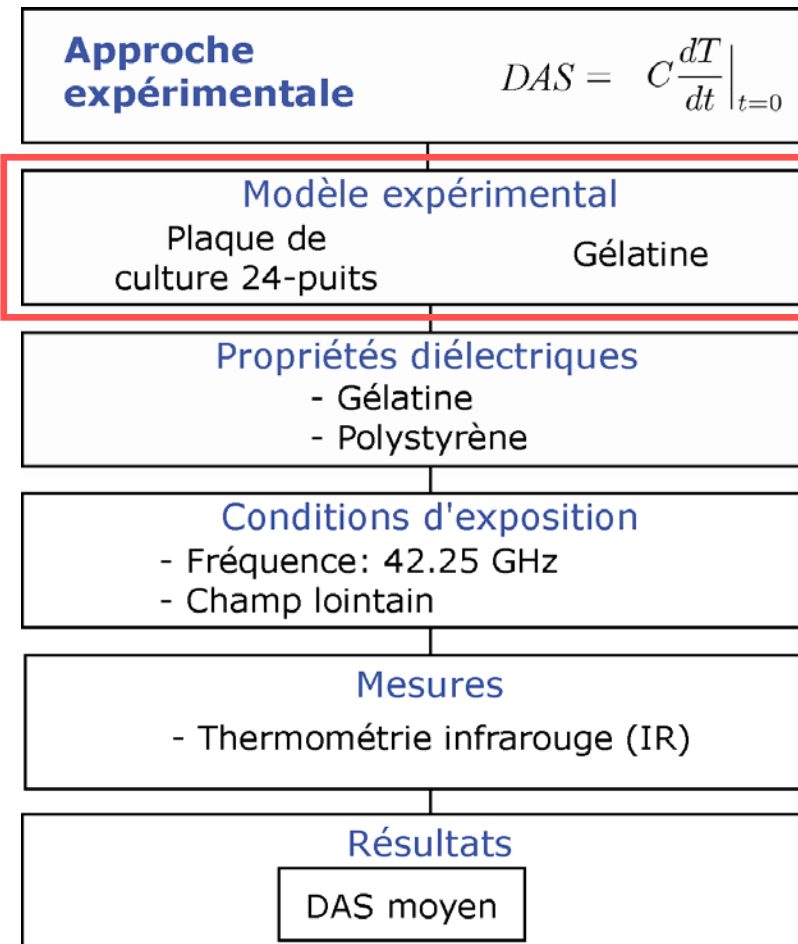
$C$  – capacité thermique



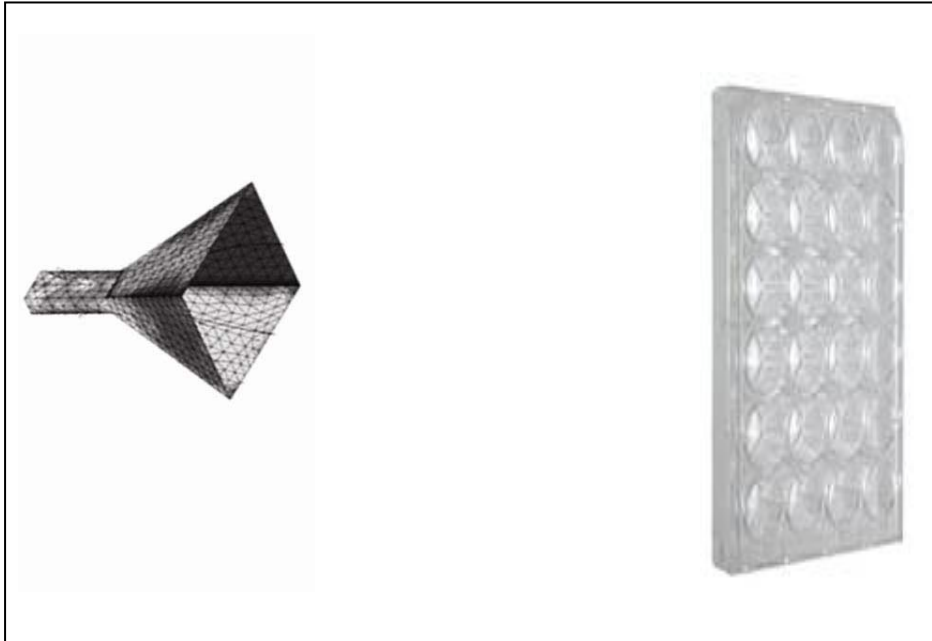
# Approche expérimentale (2/6)



Plaque de culture 24 puits remplie de gel de gélatine (2% de gélatine en poudre, 98% de solution physiologique)



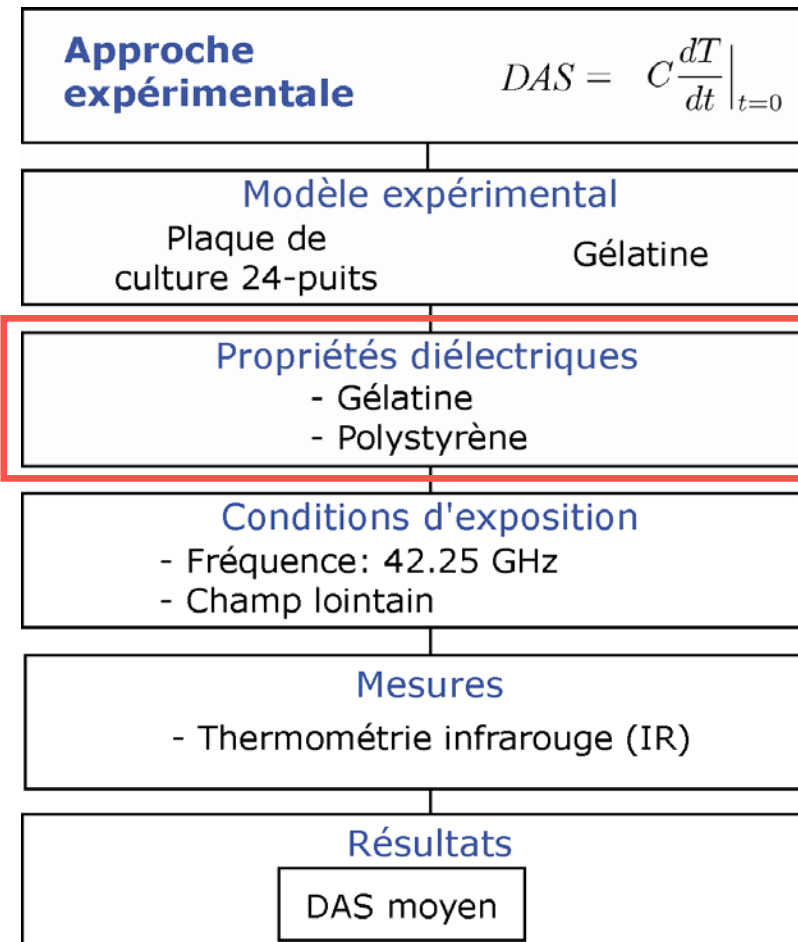
# Approche expérimentale (3/6)



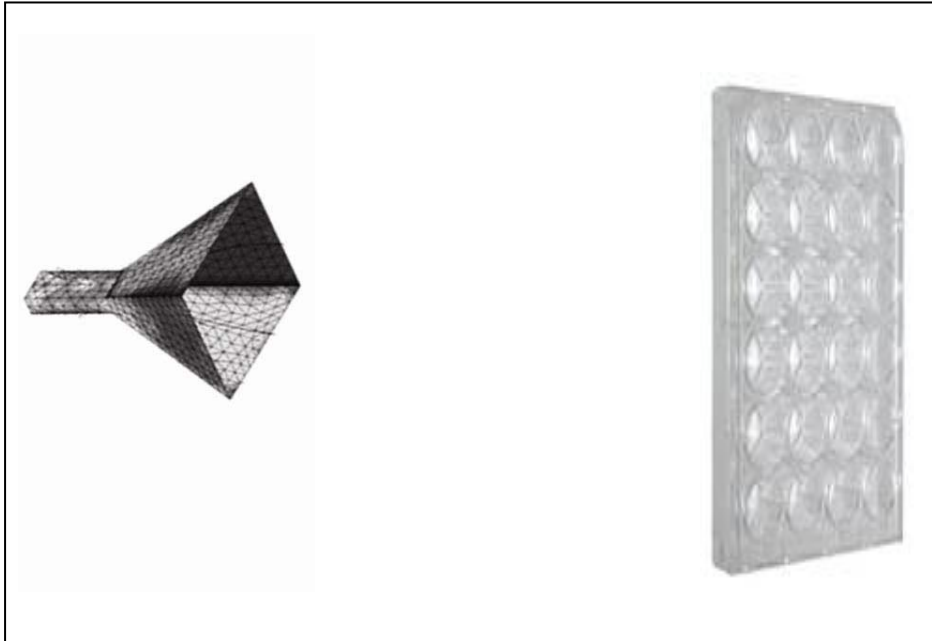
## Permittivité :

- Gel de gélatine  
14.3-20.7j

- Polystyrène  
2.56-0.003j



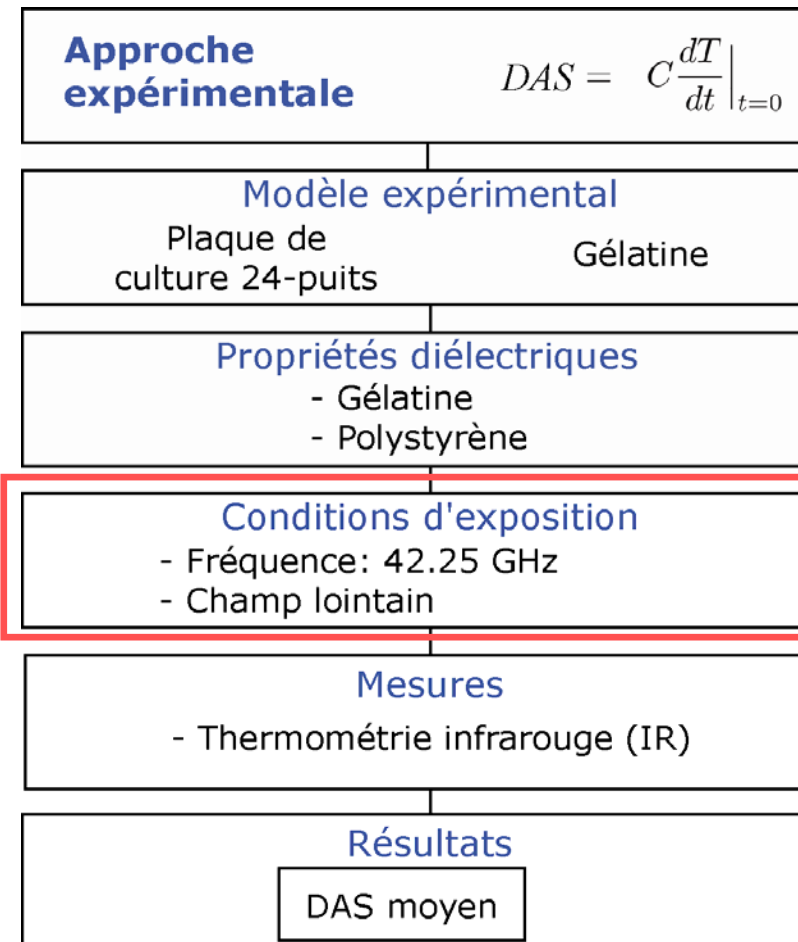
# Approche expérimentale (4/6)



**Fréquence thérapeutique :**  
42.25 GHz ( $\lambda_0=7.1$  mm)

**Conditions d'exposition :**  
Champs lointain (22 cm)

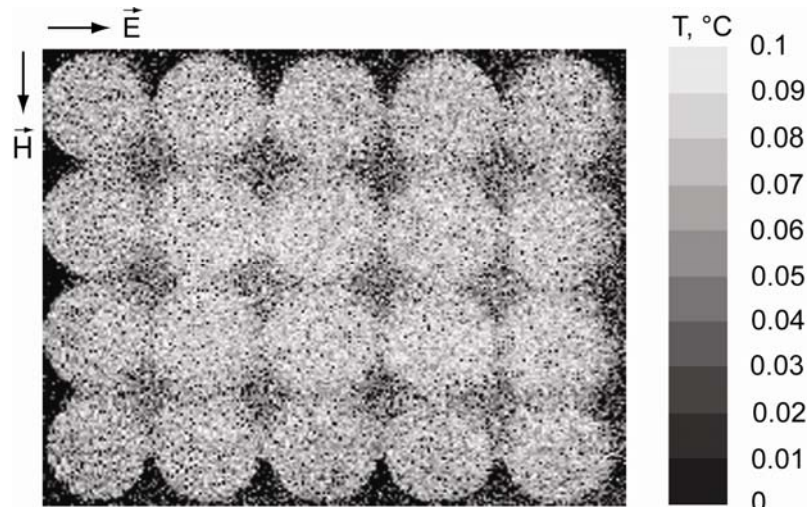
**Densité de puissance maximale :**  
3.2 mW/cm<sup>2</sup>



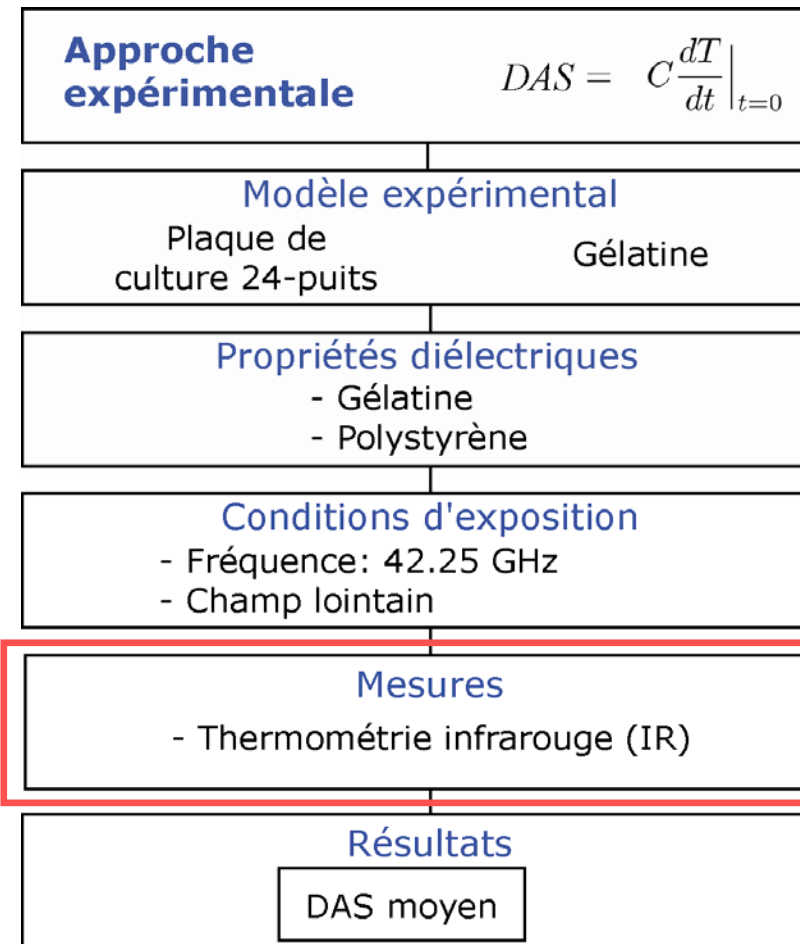
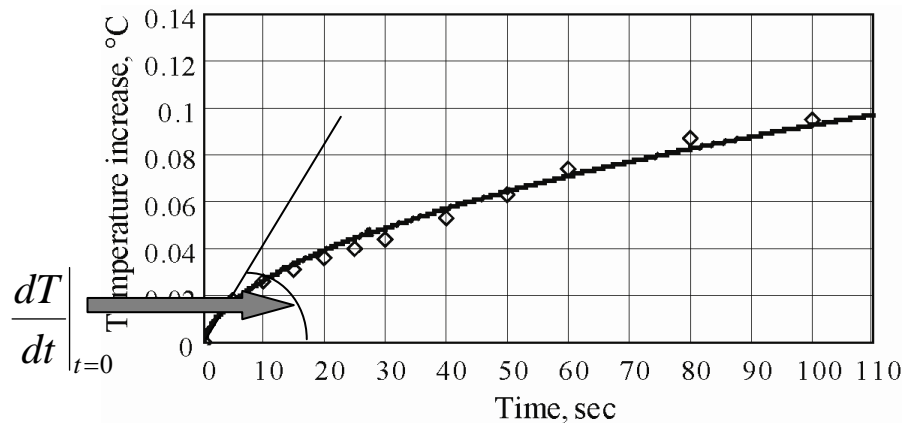


# Approche expérimentale (5/6)

Image typique obtenue par thermométrie IR :



Dynamique de l'augmentation de la température :



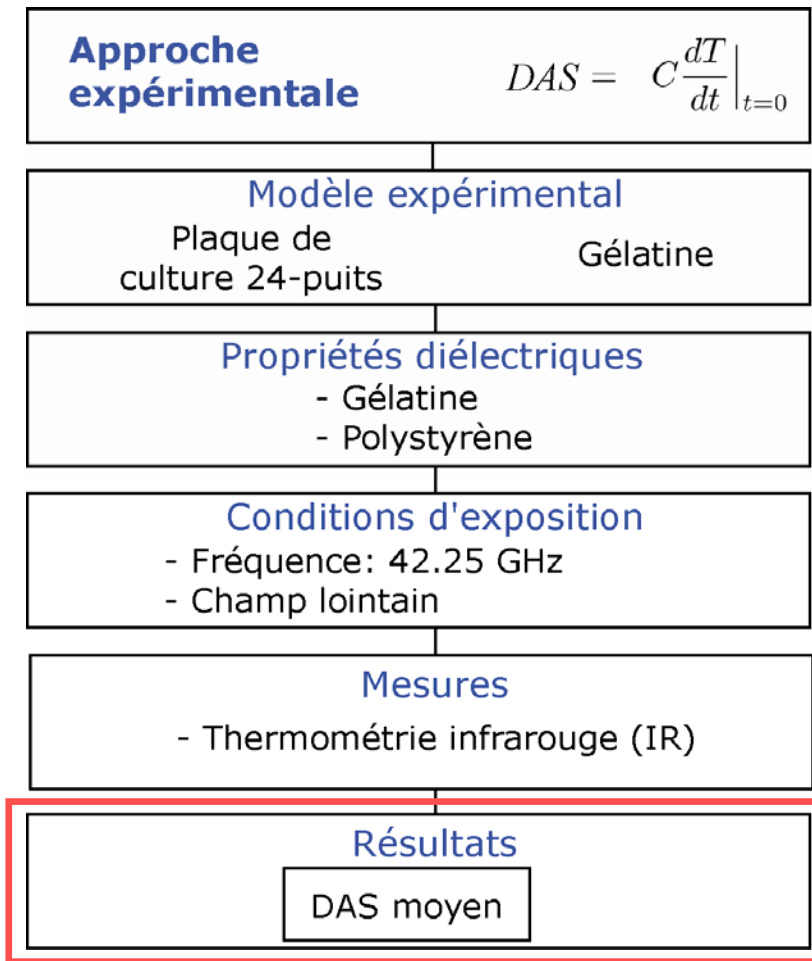
# Approche expérimentale (6/6)

## DAS moyen

Normalisé à 1 mW/cm<sup>2</sup> de densité de puissance incidente

- Résultats expérimentaux  
**21.8 W/kg**

- Résultats numériques  
**22.6 W/kg**



# Conclusions

## DAS moyen

- Le DAS moyen pour les monocouches cellulaires a été déterminé numériquement et expérimentalement. Ces résultats sont en très bon accord.
- Pour les fréquences comprises dans la bande 42-64 GHz et pour des niveaux de densité de puissance inférieurs à  $1\text{mW/cm}^2$ , le DAS moyen dans la monocouche cellulaire varie de 13 à 16 W/kg.

## Rôle des variations physiologiques naturelles

- Le DAS varie significativement en fonction de la concentration en eau de la monocouche cellulaire. L'épaisseur de la monocouche a peu d'impact sur les résultats.

# Remerciements



- Ronan SAULEAU
- Daniel THOUROUDE



- Yves Le DREAN
- Christophe NICOLAS NICOLAZ



- Stan ALEKSEEV
- Marvin ZISKIN

## Pour plus d'information :

M. Zhadobov et al. *IEEE Trans. Microwave Theory Techniques*, 56(12), pp. 2998-3007, 2008.

M. Zhadobov et al. *IEEE Trans. Antennas Propagation*, 10(1), pp. 2949-2956, 2009.